

# Monitorización del consumo eléctrico de un hogar: sensado y acondicionamiento de la corriente.



Grado en Ingeniería Eléctrica y Electrónica

## Trabajo Fin de Grado

Autor: Joseba Revuelta Irisarri

Director: Jesús López Taberna

Codirector: Javier Marcos Álvarez

Pamplona, 30 de Junio de 2015

## RESUMEN

Los contadores inteligentes permiten al usuario conocer en cualquier instante el consumo de electricidad del hogar, mediante la representación de los datos medidos en diferentes gráficas. En este proyecto, realizado por cuatro estudiantes de grado se trata la construcción de un contador inteligente para medir y almacenar el consumo eléctrico de un hogar. Cada uno se encarga de la realización de una parte, y en concreto en esta memoria se desarrolla la parte de sensado y acondicionamiento de la señal eléctrica.

En el proyecto se considera que la tensión de la instalación toma un valor constante de 230V y el factor de potencia también se mantiene constante en 0.9, por lo que no se miden estas dos variables. La corriente consumida se mide mediante un transformador de corriente, se acondiciona la señal y se introduce, por una parte en un microcontrolador Arduino y, por otra, en una Raspberry-pi que procesan los datos y los suben a la Nube.

Para ello se calibra el transformador de corriente, se propone un circuito de acondicionamiento y se realiza un análisis teórico de su funcionamiento, se construye el circuito en placas de prototipado y se comprueba el buen funcionamiento del sistema.

## PALABRAS CLAVES

Contador inteligente.

Sensor de corriente.

Acondicionamiento de la señal.

Arduino.

Raspberry-pi.

## ABSTRACT

Smart meters allow the user to know the household electric consumption at any time. They measure the demanded power and represent the data in different charts. In this project, conducted by four undergraduate students, tries to build a smart meter to measure and store the energy consumption of a house. Each student is in charge of one part of the project. In this particular memory the sensing of the current and conditioning of the signal explained.

The voltage is assumed to be 230V and the power factor 0.9, therefore, no measurement of these variables is performed. The consumed current is measured by a current transformer. The signal is then conditioned and fed into an Arduino microcontroller, and into a Raspberry-pi for its processing and uploading to the Cloud.

To this end, the current transformer is calibrated, a conditioning circuit is proposed and a theoretical analysis of the operation is performed, the circuit is built in prototype boards and the proper behaviour of the system is checked.

## KEYWORDS

Smart meters.

Current sensor.

Signal conditioning.

Arduino.

Raspberry-pi.

# ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.	OBJETIVO .....	1
2.	ESTADO ACTUAL .....	2
3.	REPARTO DEL TRABAJO .....	5
4.	DECISIONES GENERALES .....	6
5.	SENSADO Y ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL .....	8
5.1.	INTRODUCCIÓN.....	8
5.2.	OPCIONES PARA MEDIR POTENCIA.....	8
5.3.	FORMAS DE MEDIR LA CORRIENTE ELECTRICA.....	9
5.4.	CALIBRACIÓN DEL APARATO DE MEDIDA .....	11
5.4.1.	CALIBRACIÓN de la Sonda 1 .....	11
5.4.2.	CALIBRACIÓN DE LA Sonda 2.....	14
5.5.	ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL.....	16
5.5.1.	OPCIONES DE ACONDICIONAMIENTO.....	16
5.5.2.	AMPLIFICACIÓN DE LA SEÑAL .....	18
6.	CIRCUITO COMPLETO .....	20
6.1.	SONDA1.....	20
6.1.1.	RASPBERRY-PI.....	20
6.1.2.	ARDUINO .....	21
6.2.	SONDA2.....	23
6.2.1.	RASPBERRY-PI.....	24
6.2.2.	ARDUINO .....	24
7.	COMPROBACIÓN DEL CIRCUITO .....	25
8.	ALIMENTACIÓN DEL CONTADOR .....	31
9.	MONTAJE DEL PROTOTIPO .....	34
9.1.	PLACA RASPBERRY-PI .....	34
9.2.	ARDUINO.....	36
10.	LINEA TEMPORAL .....	39
11.	PRESUPUESTO .....	40
11.1.	PRESUPUESTO RASPBERRY-PI.....	40
11.2.	PRESUPUESTO ARDUINO .....	41
12.	CONCLUSIÓN .....	42
13.	LINEAS FUTURAS .....	42
14.	BIBLIOGRAFIA .....	43

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Página web de la empresa Engage .....	3
Figura 2: Página web de la empresa Current Cost .....	4
Figura 3: Sonda desmontable .....	10
Figura 4: Sonda de montaje PCB .....	10
Figura 5: Montaje para calibración de las sonda1. ....	13
Figura 6: Relación de la sonda1 .....	13
Figura 7: Montaje para calibrar la sonda2. ....	14
Figura 8: Relación de la Sonda2.....	16
Figura 9: Circuito de introducción de offset.....	17
Figura 10: Amplificador no inversor. ....	19
Figura 11: Circuito de la Sonda1 para Raspberry-pi. ....	20
Figura 12: Resultados de la simulación circuito Figura 11. ....	21
Figura 13: Circuito para Arduino de la Sonda1.....	22
Figura 14: Resultados de la simulación circuito Figura 13. ....	23
Figura 15: Protoboard para probar el circuito de Arduino.....	25
Figura 16: Imagen del osciloscopio. ....	26
Figura 17: Fuente de corriente continua.....	27
Figura 18: Circuito completo de sensado, acondicionamiento y envío de datos. ....	28
Figura 19: Conexión del conversor analógico-digital con los pines de Raspberry-pi.....	29
Figura 20: Montaje en protoboard para Raspberry-pi. ....	29
Figura 21: Montaje para corroborar el correcto funcionamiento del circuito. ....	30
Figura 22: Fuente de alimentación de enchufe.....	32
Figura 23: Fuente de alimentación de montaje en PCB. ....	32
Figura 24: Imagen de la Raspberry-pi.....	34
Figura 25: Placa para Raspberry-pi.....	35
Figura 26: Raspberry-pi y placa de prototipado.....	35
Figura 27: Raspberry-pi con alimentación y sonda. ....	35
Figura 28: Arduino uno, con shield de Ethernet y receptor de Radiofrecuencia.....	36
Figura 29: Arduino receptor en su caja. ....	36
Figura 30: Placa finalizada del circuito de sensado, acondicionamiento y envío de datos para Arduino .....	37
Figura 31: Arduino emisor caja.....	38

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ventajas y desventajas, resistencia shunt respecto a transformador de corriente.....	9
Tabla 2: Datos recogidos en el ensayo de calibración de la sonda1. ....	12
Tabla 3: Datos recogidos en el ensayo de calibración de la sonda2. ....	15
Tabla 4: Ventajas y desventajas de rectificar una onda o de no rectificarla.....	18
Tabla 5: Ventajas y desventajas de las distintas fuentes de alimentación. ....	33
Tabla 6: Presupuesto Raspberry-pi .....	40
Tabla 7: Presupuesto Arduino .....	41

## 1. INTRODUCCIÓN

El mercado energético actual se encuentra en un proceso de cambio muy importante. La facturación del consumo de la electricidad se establece ahora de acuerdo con el valor del suministro en cada instante. Siendo fundamental tanto para las empresas, como para las viviendas familiares conocer el consumo real de electricidad en cada momento. Conocimiento necesario para adecuar el mayor o menor consumo a las franjas horarias donde su precio sea menor o mayor respectivamente. Redundando su planificación en un consumo más eficaz de la electricidad, que conlleve a su vez a un menor gasto tanto de las empresas como de las familias.

### 1.1.OBJETIVO

El objetivo perseguido en este trabajo de fin de grado es construir un medidor de consumo eléctrico de bajo precio, de fácil instalación y que su medición sea compatible con la que realizan los nuevos contadores “inteligentes”, que están instalando las empresas comercializadoras de electricidad.

Los datos obtenidos en las mediciones realizadas por el contador se utilizarán, tanto para el control del consumo en la vivienda o empresa donde esté instalado el contador, como para la creación de una base de datos con consumos reales que sirvan para posteriores planificaciones de instalaciones en diferentes ámbitos, viviendas, empresas, oficinas, edificios públicos, etc.

Los esfuerzos de este proyecto se centrarán en construir un contador que sea capaz de competir, tanto en precio como en prestaciones, con los que se comercializan en la actualidad en el mercado eléctrico.

## 2. ESTADO ACTUAL

En el actual mercado de contadores inteligentes se pueden encontrar varios aparatos distintos, cada uno con un enfoque y características diferentes.

Algunos de estos dispositivos con sus características más reseñables son:

- Visualización de datos mediante pantalla LCD.
  - Simplicidad.
  - Pensado para personas con carencia de conocimientos tecnológicos.
  - Para personas cuyo interés es general y no de datos específicos.
- Visualización de datos mediante pantalla LCD + exportación de datos por USB.
  - Similar al anterior al disponer de pantalla LCD.
  - El que se puedan exportar datos permite la visualización de ellos mediante graficas comparativas, además de poder conocer datos más concretos.
- Exportación de datos a una nube y visualización en página web.
  - Gran variedad de datos visibles.
  - Posibilidad de visualizar el consumo desde cualquier ubicación que tenga acceso a internet.
  - Posibilidad de interactuar con los datos.

En las distintas webs de los fabricantes de contadores inteligentes, hay una demostración de cómo se representan los datos para ser visualizados por los clientes; habitualmente a través de páginas webs específicas.

A continuación, se muestran dos ejemplos de páginas webs, estas páginas corresponden a las compañías engage<sup>1</sup> y current cost<sup>2</sup>, en las que se puede observar cómo han resuelto cada una de ellas el problema de mostrar los datos a sus clientes.

---

<sup>1</sup> <https://engage.efergy.com/dashboard>

<sup>2</sup> <http://elverdaderocolordeldinero.blogspot.com.es/2012/10/medidores-de-consumo-electrico-para-el.html>



Engage apuesta por una página web simple, y donde el cliente puede encontrar los datos fácilmente y con gran claridad. Muestra el consumo instantáneo, el valor de la factura eléctrica, y dos gráficos, en el de arriba se muestra la potencia diaria por hora y en el de abajo el cliente puede interactuar con la aplicación y seleccionar los datos que ese instante le interesa conocer, y representarlos mediante una gráfica diaria, semanal, mensual o anual.



Figura 1: Página web de la empresa Engage

La página web de current cost al igual que la de engage es muy fácil de visualizar, ambas tienen la misma estructura.

Current cost al igual que engage pone a disposición de sus clientes una página web donde estos pueden consultar los datos proporcionados por sus medidores de una forma clara y concisa.



Figura 2: Página web de la empresa Current Cost

### 3. REPARTO DEL TRABAJO

El contador de consumo eléctrico se realiza conjuntamente entre 4 estudiantes, dos del grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales y otros dos en el grado de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

La construcción del contador ha sido dividida en tres partes:

- Creación de un dispositivo capaz de medir y acondicionar la señal recibida.
- Proveer el hardware y software necesarios para el procesamiento de datos y el envío de los mismos, a través de la red de datos para su posterior almacenamiento en “la nube”.
- Creación de una página web que muestre los datos de acuerdo a un formato establecidos.

Cada alumno se encarga del desarrollo de una de ellas.

Para el procesamiento de datos se proponen dos soluciones tecnológicas, una basada en el hardware ARDUINO, y otra en RASPBERRY-PI. Cada una de ellas será desarrollada por un alumno diferente. A estos alumnos se unen otros dos que desarrollarán cada una de las otras dos partes restantes, a saber la creación del dispositivo y el desarrollo de la página web.

Cabe reseñar que cada una de estas partes en las que se divide el proyecto coincide con un proceso que se llevará a cabo en el trabajo diario del contador, cuando este haya sido implementado en una situación real de trabajo. Estos procesos o tareas consecutivas en el tiempo son:

- Medición y acondicionamiento de la señal.
- Procesado de datos, envío de los mismos a través de tcp/ip y almacenamiento de estos en una plataforma de Internet, la plataforma usada será Google Drive.
- Visualización de los datos a través de la web: desarrollo de la página web, para mostrar los datos.

En este documento se contempla el proceso de resolución de la parte de medición y acondicionamiento tanto para Arduino como para Raspberry-pi.

Del desarrollo de las otras partes se puede encontrar información en:

- Procesado de datos con Arduino realizada por Victor Erice [1].
- Procesado de datos con Raspberry-pi realizada por Aritz Legarrea [2].
- Visualización datos via web realizada por Nahia Barriola [3].

## 4. DECISIONES GENERALES

La primera decisión que se toma es la de utilizar una página web para facilitar al usuario los datos de su consumo eléctrico. Las ventajas de utilizar páginas web para la representación de los datos son evidentes: están muy estandarizadas, pueden consultarse en distintos aparatos electrónicos: ordenadores, tablets, móviles...No condicionan su consulta a un lugar físico, sino que a través de un dispositivo móvil el usuario puede consultar los datos en cualquier lugar. Además y dada su gran implementación en el mercado existen muchas soluciones tecnológicas disponibles y probadas, lo que hace que se abarate el desarrollo del proyecto.

Tras visualizar los diferentes tipos de datos que se muestran en las páginas webs de distintos fabricantes, así como la estructura de las páginas web utilizadas por estos para mostrar dichos datos, se decide cuáles son los datos a mostrar y como se estructura la página web para que los datos sean lo más legible posible para el cliente.

Algunos de los datos que se mostrarán en la página web serán:

- Potencia consumida instantánea.
- Gráficos diarios, mensuales y anuales.
- Consejos para el ahorro energético.

Se busca además un producto que tenga una gran facilidad de instalación, que no requiera de conocimientos técnicos ni de la contratación de un especialista.

Otro tema a tener en cuenta es el de la conexión a internet, se opta por un sistema de transmisión a través de red wifi. De esta forma se ahorra el tener que llevar un cable Ethernet desde el router que transmite los datos hasta el cuadro eléctrico del edificio donde se ubique el contador, evitando tanto la distancia como la dificultad de instalar un cable Ethernet entre ambos. Esto redundará asimismo en los costes tanto de la instalación inicial como en el del posterior mantenimiento de la misma.

Con la Raspberry-pi se compra una antena wifi que se conecta mediante usb y no hay mayor problema. Sin embargo, el coste de conectarle al Arduino un sistema de transmisión wifi es elevado. Esta contrariedad se supera montando dos arduinos, uno un Arduino mini y el otro un Arduino Uno con una shield de conexión a internet por cable. El Arduino mini será el encargado de medir el consumo y de pasarle posteriormente dicho dato al otro Arduino mediante radiofrecuencia.

El Arduino con la conexión Ethernet se sitúa generalmente al lado del router, es el encargado de enviar los datos de medición al repositorio de los mismos a través de la red (Internet).

Usando la conexión wifi para Raspberry-pi y la de radiofrecuencia para el Arduino se consigue una versatilidad mayor en el sistema. El contador pasa de ser un aparato fijo a ser un dispositivo móvil. Pasa de ser un sistema con una operatoria única: medición del consumo del edificio o estancia donde se ubique, a poder ser utilizado en la medición, y por lo tanto en el control del consumo eléctrico de cualquier electrodoméstico.

Como repositorio para los datos y siguiendo con la idea de abaratar los costes del sistema también en la fase de explotación del mismo se decide utilizar algunas de las soluciones gratuitas que diferentes proveedores de servicios ponen a disposición de sus clientes.

De entre todas las soluciones estudiadas se opta finalmente por la utilización de los servicios de Dropbox, Google Drive y la tecnología xml.

La última decisión que se toma en conjunto por parte de los cuatro participantes en el proyecto, es la de cómo muestrear la señal y el intervalo entre mediciones, que influye directamente, como no podía ser de otra manera, en los datos que se muestran al cliente.

La decisión tomada es la de muestrear la onda recibida cada 1ms, de esta manera se tienen 20 muestras de cada periodo de onda, y de todos los datos obtenidos se hace una media, el resultado de esta media se sube al repositorio de los datos.

La base de datos de las mediciones se actualiza cada 10 minutos. Este es un tiempo más que suficiente para lograr los objetivos planteados. Subir los datos en intervalos más pequeños crearía una sobrecarga de los mismos. Con el intervalo planteado de 10 minutos se tiene una cantidad de datos suficiente para que el cliente tenga una visión real del consumo de su sistema eléctrico en cada instante, no se saturan las líneas de comunicación con el envío de datos inútiles y no es necesaria la implementación de sistemas que filtren los datos, para desechar aquellos menos significativos.

Una vez realizado el análisis integral del proyecto y decidida la solución global que marque el camino a seguir en la resolución de las diferentes partes en las que se subdivide este proyecto para llegar al objetivo del mismo, cada uno de los actores pasa a proyectar, desarrollar y documentar la parte asignada al mismo.

En los capítulos siguientes esta memoria documentará el desarrollo de la solución de la parte del sensado y acondicionamiento de la señal.

## 5. SENSADO Y ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL

### 5.1.INTRODUCCIÓN

En esta parte del proyecto se desarrollará un sistema que sea capaz de medir la intensidad presente en un conductor eléctrico. Posteriormente dicha señal se acondicionará para poder ser recibida por alguno de los hardwares utilizados en el proyecto y finalmente será enviada por Internet hasta un repositorio de datos en “la nube”.

### 5.2.OPCIONES PARA MEDIR POTENCIA

La primera decisión que se ha de afrontar es la de medir solo la corriente consumida del sistema del cual se desea conocer su potencia consumida, o si además de medir la corriente también se mide la tensión de alimentación para conocer la potencia real.

La medición solo de intensidad simplifica el circuito de sensado, además de facilitar la instalación del aparato ya que no es necesario desmontar cables del circuito. Sin embargo, el no medir la tensión introduce ya un posible error, debido a que esta no tiene un valor estable. La tensión puede tomar valores en un rango un 10% más o un 10% menos de la tensión teórica que es de 230V.

Las compañías eléctricas solo facturan la potencia activa, para conocer esta potencia además de conocer la intensidad demandada y la tensión de alimentación se debe de conocer el FP (factor de potencia), que depende del desfase entre la intensidad y la tensión de alimentación, por lo que no medir una de las dos supone no conocer este factor de potencia y por lo tanto que no se conozca el valor exacto de la potencia activa.

Después de analizar las dos opciones, medir solo intensidad o medir intensidad y tensión, se decide construir el producto en base a la opción de medir solo la intensidad. Esto provoca no conocer exactamente la potencia activa debido a que la tensión no será un valor conocido sino que será prefijado.

La tensión tendrá el valor teórico que debe tener la red que es de 230 voltios y el FP se busca en el REBT (Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión) y se le asigna un valor de 0,9.

Con todos estos detalles la potencia sigue la ecuación 1:

$$P \text{ (Wattios)} = 230 \text{ (Voltios)} * I \text{ (Amperios)} * 0.9 \quad (1)$$

### 5.3. FORMAS DE MEDIR LA CORRIENTE ELECTRICA

De entre todas las posibles formas que existen para medir la corriente eléctrica y después de un estudio minucioso de las mismas, se seleccionan dos posibles alternativas para su implementación en el sistema.

- Medición mediante el uso de una resistencia shunt. Esta resistencia tiene un valor óhmico muy pequeño y consume muy poco voltaje permitiendo la medición de grandes corrientes a un bajo coste económico.
- Utilización de un transformador de corriente. Un transformador de corriente es un elemento compuesto por dos bobinados aislados que transmite una intensidad muy inferior, a la que presenta el circuito a medir, a los equipos de medida.

	Resistencia Shunt	Transformador de Corriente
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mide grandes corrientes.</li> <li>• Tamaño reducido para poderse instalar en el cuadro eléctrico.</li> <li>• Bajo coste.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aislamiento galvánico entre el circuito de potencia y el de medida.</li> <li>• Robustez.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesario el desmontaje de cables para su instalación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calentamiento.</li> <li>• No es posible medir corriente continua.</li> </ul>

Tabla 1: Ventajas y desventajas, resistencia shunt respecto a transformador de corriente

Después del estudio anterior, donde se muestran todas las ventajas y desventajas de las distintas formas de medir la corriente que se han propuesto, ver Tabla 1, se decide que de las dos posibilidades mencionadas la mejor de todas ellas es la instalación de un transformador de corriente.

Entre los transformadores de corriente que se pueden encontrar en el mercado existen dos posibilidades muy interesantes para el proyecto.

- Sondas desmontables, similares a una pinza amperimétrica, con un cable de conexión Jack.



Figura 3: Sonda desmontable

- Compactas, preparadas para ser instaladas en un PCB (tarjeta electrónica) pero que no se pueden abrir.



Figura 4: Sonda de montaje PCB

Una de las premisas del producto es que sea fácil de montar, además, con la conexión a internet a través del wifi se facilita su portabilidad. De ahí que en la construcción final del producto se utilicen las sondas desmontables, facilitando el montaje del mismo, tanto en su ubicación inicial, como en las posibles reubicaciones del mismo.

A esto se añade la dificultad de introducir cualquier aparato extra en los cuadros eléctricos de los edificios, ya de por sí muy saturados. La sonda desmontable permite introducir en el cuadro eléctrico sólo la sonda de medida, y dejar fuera del mismo todo el sistema de sensado y el de envío de datos. Razón de más para el uso de las sondas desmontables.



## 5.4. CALIBRACIÓN DEL APARATO DE MEDIDA

En la universidad se dispone de dos sondas desmontables que serán las utilizadas en el proyecto para realizar la medición de la corriente. Estas sondas no son iguales por lo que tras la calibración de ambas, cada una tendrá un circuito diferente. Se van a realizar los circuitos teóricos de cada sonda para cada aparato, con aparato se refiere a la Raspberry-pi y al Arduino, pero en la práctica solo se implementa un circuito para cada aparato.

Como punto de partida para la calibración de las ondas necesitamos sus correspondientes datasheet. En estos el fabricante de las sondas especifica las características técnicas de las sondas. Como no se dispone de estos datasheet se buscan en Internet.

Una vez estudiados los datasheet se observa que una de las sondas tiene una resistencia incrustada en la propia sonda lo que proporciona un valor de tensión. Sin embargo la otra sonda no dispone de resistencia por lo que habrá que instalar una resistencia en paralelo con el transformador para tener un valor de tensión a la salida.

A partir de este momento la sonda que incluye una resistencia se nombrará como sonda1, anexo 1, y a la otra sonda se nombrará como sonda2, anexo 2.

### 5.4.1. CALIBRACIÓN de la SONDA 1

Se comprueba con un multímetro digital que la resistencia interna de la sonda tiene un valor de resistencia de  $62\ \Omega$ , tal y como indica el fabricante en sus especificaciones.

Aunque lo que realmente nos interesa es la relación entre la corriente que circula por el cable que se desea medir y la tensión presente a la salida de la sonda, para saber en todo momento la intensidad que circula por el circuito. Realmente el valor de la resistencia es indiferente.

En el datasheet de la sonda1, el fabricante especifica que la sonda aguanta hasta 30 Amperios eficaces por lo que se realiza un barrido desde una intensidad de 0 Amperios hasta una intensidad de 30 A, y se va observando para cada intensidad el valor de tensión obtenido en el bobinado secundario. El barrido constará de 21 muestras.

Para realizar este barrido se colocan dos bancadas de resistencias conectadas a la red eléctrica y mediante la variación de las resistencias conectadas se varía la intensidad que circula por el circuito, intensidad que la sonda mide.

En la Tabla 2 se aprecia todo el barrido realizado para encontrar la relación entre intensidad y voltaje.

resistencia	voltaje	inten.teorica(A)	intensidad amperimetro(A)	Voltaje sonda circ. Abi.(mV)	Relacion
440	230	0,522727273	0,454	15,5	34,1409692
220	230	1,045454545	0,97	33,2	34,2268041
110	230	2,090909091	1,98	66,7	33,6868687
55	230	4,181818182	4	133	33,25
44	230	5,227272727	5,03	167	33,2007952
36,6666667	230	6,272727273	6,09	201	33,0049261
31,4285714	230	7,318181818	7,09	233	32,8631876
22	230	10,45454545	10,1	335	33,1683168
18,3333333	230	12,54545455	12,1	397	32,8099174
15,7142857	230	14,63636364	13,9	462	33,2374101
12,2222222	230	18,81818182	17,7	595	33,6158192
10,4761905	230	21,95454545	20,6	690	33,4951456
9,77777778	230	23,52272727	21,9	730	33,3333333
9,36170213	230	24,56818182	22,7	760	33,4801762
8,97959184	230	25,61363636	23,7	789	33,2911392
8,30188679	230	27,70454545	25,5	852	33,4117647
8	230	28,75	26,5	883	33,3207547
7,71929825	230	29,79545455	27,4	913	33,3211679
7,45762712	230	30,84090909	28,4	947	33,3450704
7,33333333	230	31,36363636	29,1	964	33,1271478
6,98412698	230	32,93181818	30,5	1010	33,1147541

**Tabla 2: Datos recogidos en el ensayo de calibración de la sonda1.**

En la Tabla 2 para el cálculo teórico de la intensidad se utilizan los valores teóricos de los elementos presentes en la instalación. El voltaje de red se toma como 230 V y las resistencias el valor que indica el fabricante.

Por el circuito no pasa la intensidad teórica calculada, por lo que se usa una sonda de corriente de la marca Fluke<sup>3</sup> conectada a una fase. Dicha sonda se conecta al osciloscopio y de esta forma es posible visualizar tanto la forma de onda de la corriente como sus valores máximo y eficaz.

La sonda1 se conecta en el neutro y mediante un osciloscopio se visualiza la tensión que esta sonda proporciona a su salida, se comprueba que la tensión tiene una forma de onda senoidal y se mide su valor máximo y eficaz.

<sup>3</sup> Referencia: Fluke 80i-1000s

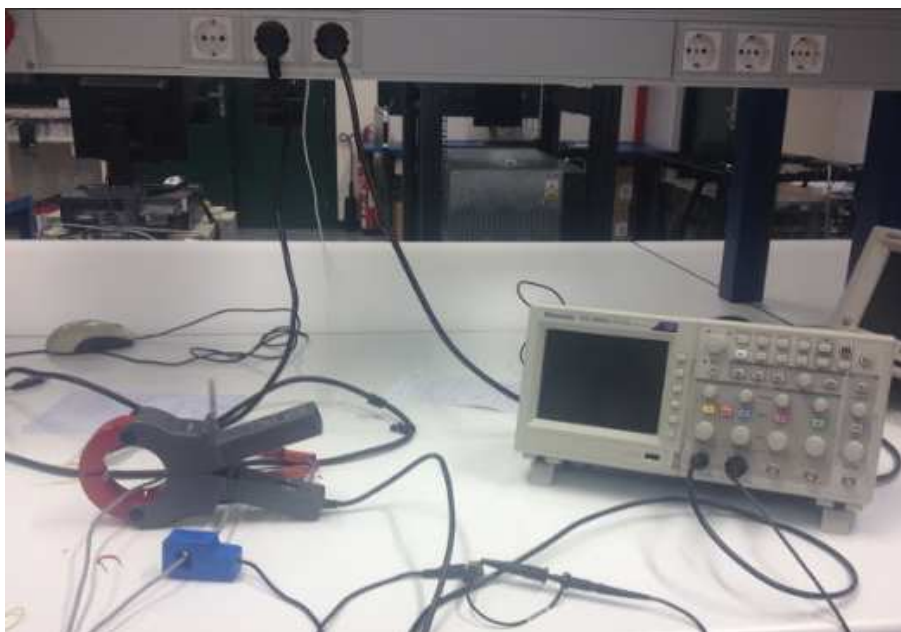


Figura 5: Montaje para calibración de las sonda1.

Una vez obtenidos todos los datos se halla la relación entre la intensidad y el voltaje como se puede apreciar en la Tabla 2, además, se representa en la Figura 6 la intensidad frente al voltaje para observar si sigue una relación lineal que es lo necesario para que la sonda1 se pueda utilizar para el contador de electricidad.

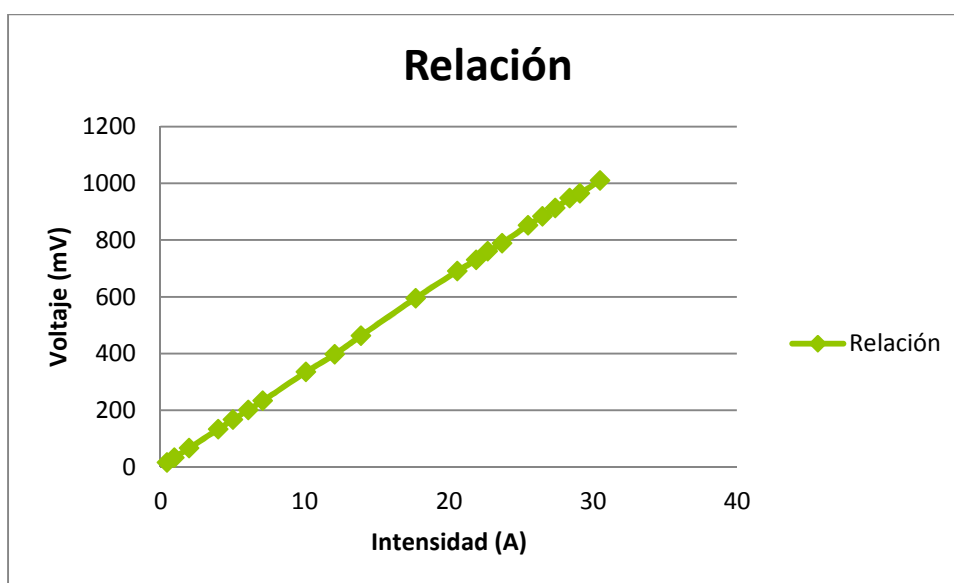


Figura 6: Relación de la sonda1

Se calcula el valor medio de la relación, y este valor será el usado tanto por la Raspberry-pi como por el Arduino para el cálculo de la intensidad que circula por el circuito que se desea medir.

El valor de la relación entre la intensidad, en Amperios, y la tensión, en mili voltios, es de 33,35.

### 5.4.2. CALIBRACIÓN DE LA SONDA 2

En el datasheet del fabricante se informa sobre la no existencia de una resistencia en esta sonda, el secundario del transformador se encuentra en circuito abierto. Al igual que con la sonda 1, se comprueba si la información especificada por el fabricante en el datasheet es la correcta, midiendo para ello, con un polímetro en bornes del secundario.

El polímetro muestra una resistencia de  $100\ \Omega$ , que no aparece en el datasheet, lo más probable es que sea la resistencia del secundario del transformador, para comprobar si es una resistencia o la resistencia del secundario lo que se hace es conectar la sonda a un circuito con corriente y ver si se satura el transformador.

Si se satura, indica que es la resistencia del secundario, si no se satura es que la sonda dispone de una resistencia interna. La sonda se satura por lo que no dispone de una resistencia dentro de la propia sonda, hay que colocar una resistencia en bornes del transformador.

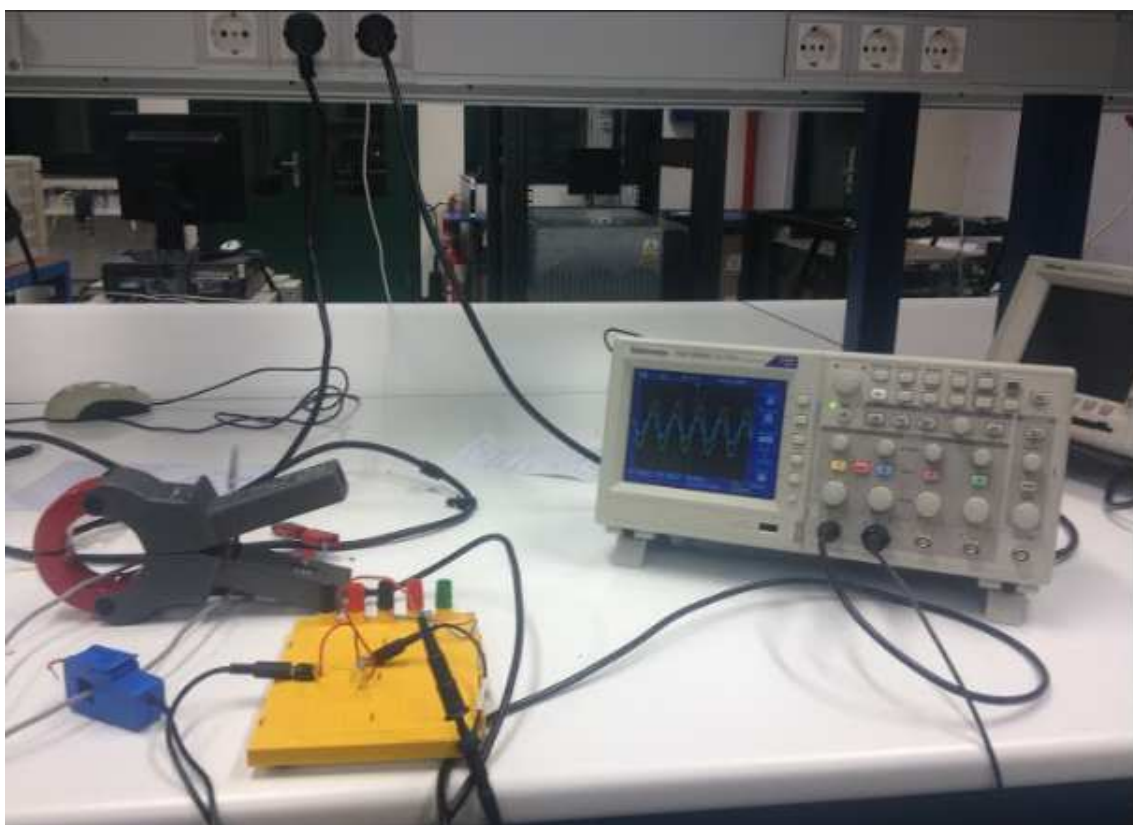


Figura 7: Montaje para calibrar la sonda2.

En el osciloscopio presente en la Figura 7 se pueden apreciar las dos formas de ondas senoidales, la gráfica amarilla corresponde a la sonda roja y la gráfica azul a la sonda azul.

Se busca una relación, entre intensidad y voltaje, semejante a la de la sonda1, con el fin de realizar un mismo circuito válido para ambas sondas, añadiendo solo en el circuito de la sonda2 la resistencia en bornes del transformador.

Para conseguir la relación más cercana posible se realizan diversas pruebas con diferentes resistencias, comprobando para cada una de ellas la tensión en bornes del transformador. La resistencia que da una relación que más se asemeja a la de la sonda1 es la de 67Ω.

Al igual que con la sonda1 se hace un barrido desde los 0 A hasta los 30 A, con los mismos valores de intensidad que para la sonda1, con el fin de comprobar la relación en todo el rango de intensidad.

La Tabla 3 muestra los datos obtenidos en el barrido de intensidad, los datos están calculados siguiendo el mismo proceso que el utilizado para el mismo cálculo en la sonda1, reflejados en la Tabla 2.

resistencia	voltaje	inten.teorica(A)	intensidad amperimetro(A)	Voltaje sonda circ. Abi.(mV)	Relacion
440	230	0,522727273	0,454	16	35,2422907
220	230	1,045454545	1	35,2	35,2
110	230	2,090909091	2,04	70,4	34,5098039
55	230	4,181818182	4,1	140	34,1463415
44	230	5,227272727	5,09	174	34,1846758
36,6666667	230	6,272727273	6,15	208	33,8211382
31,4285714	230	7,318181818	7,14	242	33,8935574
22	230	10,45454545	10,1	342	33,8613861
18,3333333	230	12,54545455	12,3	412	33,495935
15,7142857	230	14,63636364	14,1	476	33,7588652
12,2222222	230	18,81818182	17,9	610	34,0782123
10,4761905	230	21,95454545	20,8	706	33,9423077
9,77777778	230	23,52272727	22,1	750	33,9366516
9,36170213	230	24,56818182	23,2	786	33,8793103
8,97959184	230	25,61363636	24	816	34
8,30188679	230	27,70454545	25,7	872	33,9299611
8	230	28,75	26,5	902	34,0377358
7,71929825	230	29,79545455	27,7	938	33,8628159
7,45762712	230	30,84090909	28,6	968	33,8461538
7,33333333	230	31,36363636	29	981	33,8275862
6,98412698	230	32,93181818	30,3	1030	33,9933993

Tabla 3: Datos recogidos en el ensayo de calibración de la sonda2.

Una vez obtenidos todos los datos se haya la relación entre la intensidad del circuito y el voltaje proporcionado por la sonda, como se puede apreciar en la Tabla 3, además, se representa en la Figura 8 la intensidad frente al voltaje para observar si sigue una relación lineal que es lo necesario para que la sonda2 se pueda utilizar para el contador de luz.

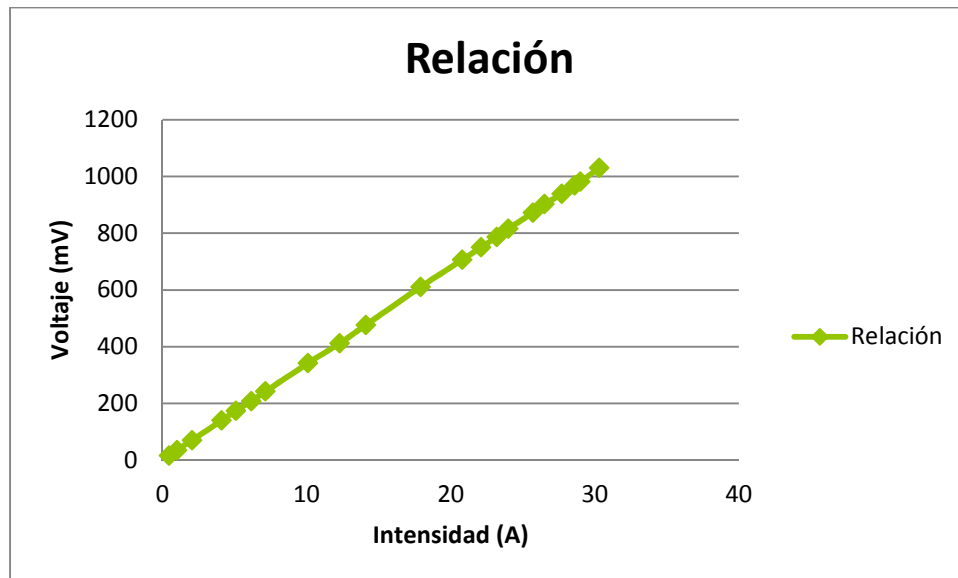


Figura 8: Relación de la Sonda2

Se calcula el valor medio de la relación, y este valor será el usado tanto en la Raspberry-pi como en el Arduino para el cálculo de la intensidad que circula por el circuito que se desee medir. El valor de la relación entre la intensidad y la tensión será de 34.

Una vez confirmado que las dos sondas son aptas para el propósito en el que van a ser empleadas y que se sabe cómo funcionan ambas sondas, se proceder a realizar el circuito de acondicionamiento de la señal para Raspberry-pi y Arduino.

## 5.5.ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL

### 5.5.1. OPCIONES DE ACONDICIONAMIENTO

Tanto la Raspberry-pi como el Arduino solo admiten valores de tensión positivos en sus entradas, por lo que habrá que variar la forma de onda de la sonda para que solo tenga valores positivos, debido a que al ser una onda senoidal centrada en cero tiene tanto valores positivos como negativos.

Se decide no medir la tensión para facilitar el proyecto, por esta razón da igual perder la forma de onda senoidal. Pero por si en un futuro se decide medir la tensión, se va a pensar una solución que permita mantener la forma de onda senoidal, y aun así que la Raspberry-pi y el Arduino puedan medir esa señal.

Para la medición de la tensión tenemos dos posibles procesos: rectificar la onda para tener valores de tensión entre el voltaje admitido por cada aparato, o introducir un offset a la señal de tensión en corriente alterna; y conseguir que el máximo y el mínimo de esta señal coincida con el máximo y el mínimo impuestos tanto por la Raspberry-pi como por el Arduino.

A continuación se describen los pros y contras de cada una de las soluciones planteadas.

- No rectificar la onda

Tomar esta decisión supone la introducción de un offset para que esta señal se encuentre entre los límites positivos de Arduino y Raspberry-pi.

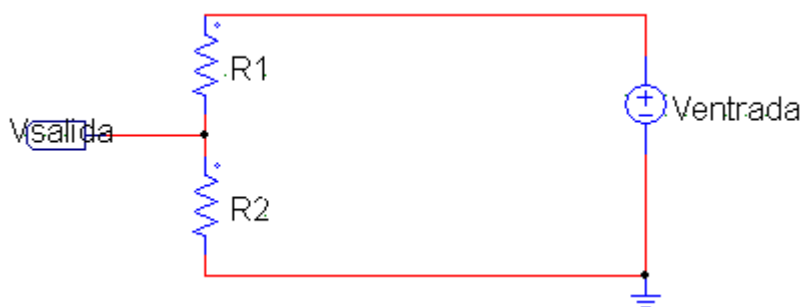


Figura 9: Circuito de introducción de offset

Circuito sencillo para la introducción de un offset, se trata de un divisor de tensión por lo que el valor del offset,  $V_{salida}$ , depende de la  $V_{entrada}$  y del valor de las resistencias, la  $V_{salida}$  cumple la ecuación 2:

$$V_{salida} = V_{entrada} * \frac{R2}{R1+R2} \quad (2)$$

- Rectificar la onda

Rectificar la onda supone tener una onda continua con solo valores positivos. Para el rectificado se pueden emplear diversos circuitos.

La rectificación aportaría facilidad en la medida y sencillez en la toma de datos.

En la Tabla 4 se pueden ver las distintas ventajas y desventajas que presenta cada opción.

	No rectificar	Rectificar
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ocupa poco espacio</li> <li>• No consume</li> <li>• Si se midiese tensión se puede calcular el factor de potencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ocupa poco espacio</li> <li>• Mayor resolución</li> <li>• Barato</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mitad de resolución que si se rectifica la onda</li> <li>• Aumento de la dificultad de programación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En algunos casos, alto consumo</li> <li>• Introducción de armónicos</li> <li>• Muchos componentes.</li> </ul>

Tabla 4: Ventajas y desventajas de rectificar una onda o de no rectificarla.

Tras exponer la Tabla 4 en una reunión, se decide entre los 4 integrantes del trabajo y los tutores que la mejor opción es no rectificar la onda, utilizar un offset.

Además de ser la opción que no consume potencia, es fácil de implementar debido a su sencillez. También se ha tenido en cuenta que si en un futuro se desea medir la tensión presente en la línea no habrá que modificar el circuito de la intensidad, porque como se ha comentado anteriormente la utilización de un Offset no provoca la modificación de la onda senoidal de intensidad.

### 5.5.2. AMPLIFICACIÓN DE LA SEÑAL

Las entradas digitales de la Raspberry-pi admiten valores de entrada entre 0 y 3.3V, sin embargo, las entradas analógicas del Arduino tiene un rango de valores admisibles entre 0 y 5V.

La idea principal es ocupar el máximo posible estos rangos, para ello se debe de conocer el valor máximo de la tensión de la sonda, que coincide con el mayor valor de intensidad que se va a medir, en nuestro caso 30A.

El mayor valor proporcionado depende de cada sonda debido a que tienen relaciones de transformación diferentes, para la sonda1 es de 1.4V y para la sonda2 es de 1.42V.

Debido a la forma de acondicionamiento seleccionada se tiene que introducir un offset, que en cada caso tiene como valor la mitad del valor máximo admitido por cada aparato, en el caso de la Raspberry-pi su valor es 1.65V y en el del Arduino el valor del offset es de 2.5V.



Si se comparan estos valores de offset con el valor máximo que proporcionan las sondas se comprueba que al sumarlos se obtiene unos valores para la Raspberry-pi de 3.06V y de 3.15V, estos valores se sitúan muy cerca del tope superior por lo que no es necesario una amplificación de la señal debido a que la ganancia en precisión será mínima.

En el caso del Arduino para la sonda1 se tiene un valor máximo de 3.9V y para la sonda2 este valor es 3.92V, hasta los 5V que es el tope máximo hay un gran margen, en este caso si que procede la amplificación de la señal para ganar en precisión. Para conseguir una amplificación óptima se diseña un circuito para provocar que el máximo valor de tensión proporcionado por la sonda coincida con el máximo valor que admite la entrada analógica del Arduino.

Para el circuito de amplificación se usara un amplificador operacional en configuración no inversora. Su diseño se puede apreciar en la Figura 10.

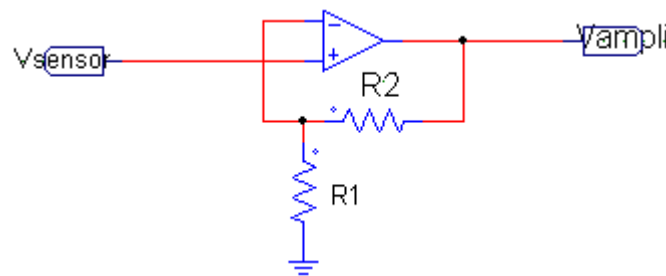


Figura 10: Amplificador no inversor.

$$V_{ampli} = V_{sensor} + V_{sensor} * \frac{R_2}{R_1} \quad (3)$$

$$V_{ampli} = V_{sensor} * \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (4)$$

$$\frac{V_{ampli}}{V_{sensor}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad (5)$$

Para calcular las resistencias a emplear se utiliza la Ecuación 5. De esta fórmula  $V_{ampli}$  y  $V_{sensor}$  son datos conocidos, lo único que hay que hacer es fijar el valor de una de las dos resistencias y se halla el valor de la otra resistencia.

## 6. CIRCUITO COMPLETO

Anteriormente ha sido desarrollada cada parte del circuito de medida por separado siendo tomadas diversas decisiones, que ahora se han de ensamblar.

Como se tienen dos sondas distintas hay que realizar un circuito distinto para cada una de ellas, además se tienen dos aparatos distintos, Raspberry-pi y Arduino, y cada uno necesita también un circuito distinto, en total son cuatro circuitos distintos.

Antes de montar ningún circuito, se simulan todos en un ordenador mediante el programa PSIM.

### 6.1.SONDA1

Esta sonda es aquella que dispone de una resistencia interna, y que directamente proporciona un valor de tensión a la salida de esta sin tener que colocar una resistencia en sus bornes de salida.

#### 6.1.1. RASPBERRY-PI

Anteriormente se ha mencionado que para la Raspberry-pi no se amplifica la señal debido a que se ocupa prácticamente el rango de las entradas, por lo que el circuito no dispone de amplificador operacional, como puede apreciarse en la Figura 11.

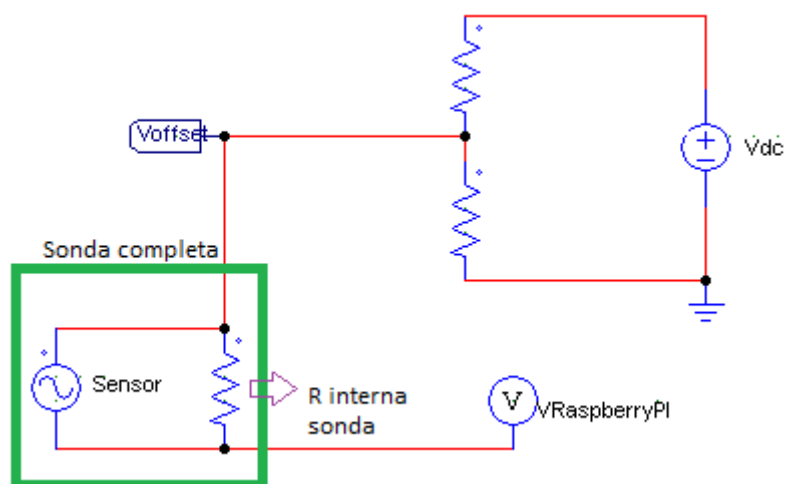


Figura 11: Circuito de la Sonda1 para Raspberry-pi.

Para que la salida de la sonda en vez de centrada en 0V este centrada en 1.65V, el offset necesario para la Raspberry-pi, se realiza mediante la conexión de la salida de un divisor de tensión, que tendrá ese valor, con uno de las dos patillas de salida de la sonda. De esta forma la onda de tensión proporcionada por la sonda está centrada en el valor que interesa.

El valor de offset de 1.65V se consigue con dos resistencias del mismo valor para el divisor de tensión, ya que coincide que el valor de offset es la mitad del valor de la fuente Vdc, Figura 11.

En la Figura 12 se pueden apreciar los resultados de la simulación, muestra el voltaje que llega a la entrada del conversor analógico-digital si la sonda mide 30A eficaces.

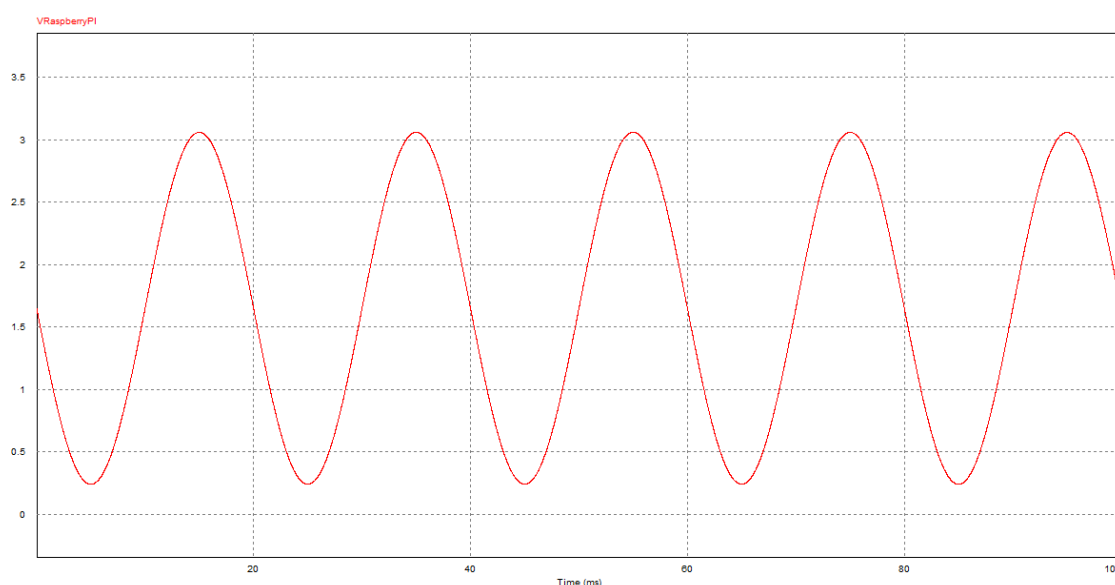


Figura 12: Resultados de la simulación circuito Figura 11.

### 6.1.2. ARDUINO

En el Arduino hay que realizar un circuito diferente debido a que en este caso sí que es necesaria una amplificación de la señal para ocupar más rango de la entrada.

Se sabe que la sonda da una tensión máxima de 1.4V, y que debido al offset el máximo al que puede llegar la amplificación es a 2.5V.

$$V_{ampli} = V_{arduino} - V_{offset} = 5 - 2.5 = 2.5V \quad (6)$$

Para amplificar la señal se emplea un amplificador operacional no inversor. Siguiendo la ecuación 5 se obtienen los valores de R1 y R2 para tener el nivel de amplificación deseado. Se fija el valor de R1 en 220Ω y a partir de este se calcula el valor de R2, que será igual a 157Ω.

Ahora solo falta introducir el circuito del offset necesario para el correcto funcionamiento del contador de electricidad, para ello se amplifica tanto el offset como la señal de la sonda.

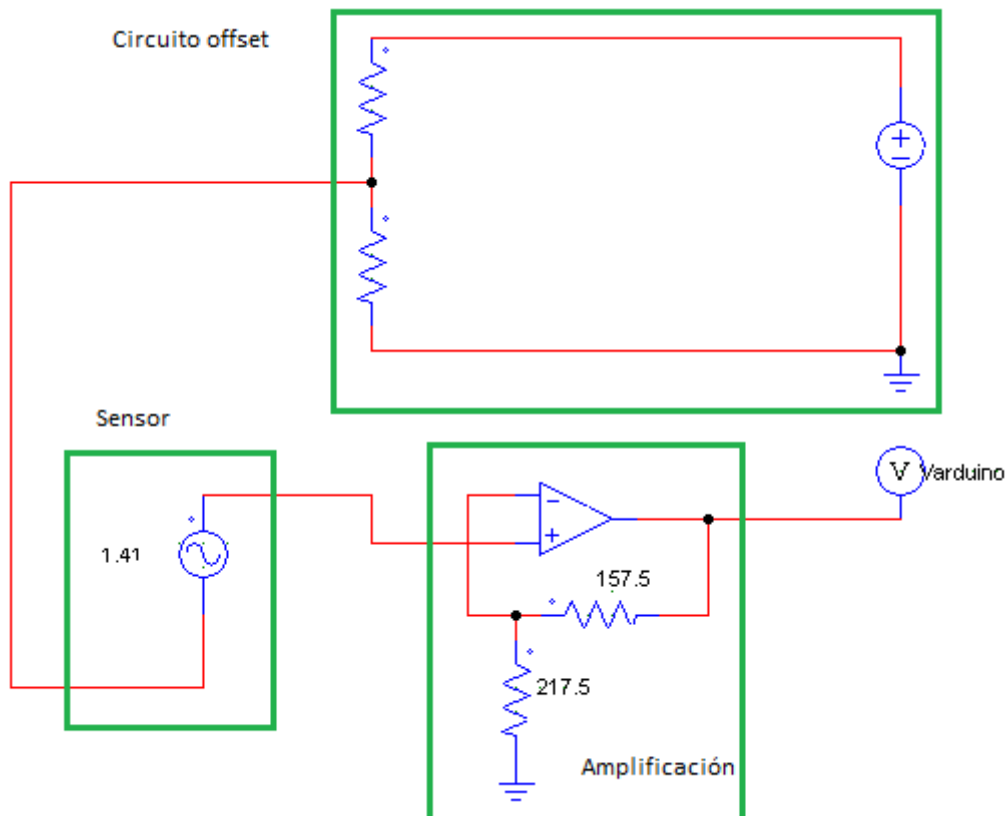


Figura 13: Circuito para Arduino de la Sonda1.

Ahora el offset no puede ser de la mitad del valor del máximo permitido por Arduino sino que debe ser menor para que al amplificarlo resulte el offset correcto.

La amplificación es la misma debido a que la marca el nivel de tensión de la sonda, por lo que se debe de cambiar el valor del offset.

$$V_{\text{offset}} = \frac{2.5}{\text{Amplificación}} = \frac{2.5}{1.7} = 1.47 \text{ V} \quad (7)$$

Este es el nuevo valor de offset que se debe introducir siguiendo el esquema de la Figura 15 para que a la salida del amplificador operacional no inversor se obtenga una onda senoidal centrada en 2.5V y cuyo valor mínimo y máximo sean 0 y 5V respectivamente. Se impone un valor de 5600Ω a la resistencia, R1.

$$V_{\text{salida}} = V_{\text{entrada}} * \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (8)$$

$$R_2 = \frac{\frac{V_{\text{salida}}}{V_{\text{entrada}}} * R_1}{1 - \frac{V_{\text{salida}}}{V_{\text{entrada}}}} \quad (9)$$

$$R_2 = \frac{\frac{1.47}{9} * 5600}{1 - \frac{1.47}{9}} = 1093.2 \, \Omega \quad (10)$$

En la Figura 14 se puede ver que se cumplen los requisitos.

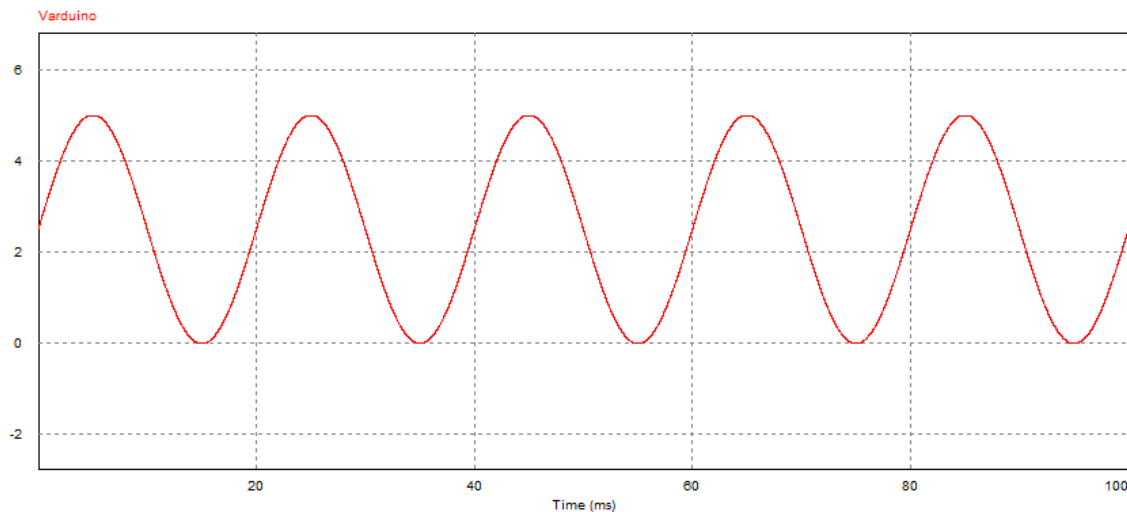


Figura 14: Resultados de la simulación circuito Figura 13.

## 6.2.SONDA2

Como se ha comentado anteriormente la sonda no dispone de una resistencia interna, lo que obliga a instalar una entre los bornes del secundario de nuestro transformador.

Igual que para la anterior sonda se realizan dos circuitos distintos, uno para la Raspberry-pi y otro para el Arduino.

### 6.2.1. RASPBERRY-PI

Este caso es similar al de la sonda1, la suma del offset más la tensión de la sonda da un valor muy cercano a los 3.3V que admite como máximo la entrada de la Raspberry-pi.

El circuito será similar al de la sonda1 con el añadido de la colocación de la resistencia en los bornes del secundario para tener tensión a la entrada de la Raspberry-pi. El circuito final puede apreciarse en la Figura 13, la diferencia es que la resistencia interna presente en la figura no es interna sino externa, debido a las características de la sonda2.

### 6.2.2. ARDUINO

La sonda2 tiene una relación semejante a la de la sonda1 debido a lo cual no hay que realizar un cambio en el valor de los componentes, se mantienen todos los valores.

Se fija el valor de R1 en 220Ω, y se halla las resistencias del amplificador operacional.

$$\frac{V_{\text{arduino}}}{V_{\text{sonda}}} = \frac{R1+R2}{R1} \quad (11)$$

$$R2 = \frac{V_{\text{arduino}}}{V_{\text{sonda}}} * 220 - R1 \quad (12)$$

$$R2 = \frac{2.4}{1.5} * 220 - 220 = 157\Omega \quad (13)$$

Como la relación de transformación de la sonda2 no es mucho mayor que el de la sonda1 se mantiene el nivel de amplificación al mismo valor al no variar las resistencias, por lo tanto el offset no cambia su valor.

$$V_{\text{offset}} = \frac{2.5}{1.7} = 1.47V \quad (14)$$

Como el offset mantiene el mismo valor que en el circuito de la sonda 1, las resistencias a colocar en este circuito son las mismas que en la ecuación 10.

Como no se han cambiado los valores de los componentes la simulación da el mismo resultado que se puede apreciar en la Figura 14.

## 7. COMPROBACIÓN DEL CIRCUITO

Una vez comprobadas todas las simulaciones y visto que todos los circuitos teóricos funcionan correctamente para el propósito deseado se comienza el montaje de un circuito para Arduino y otro para Raspberry-pi.

Se dispone de dos sondas, sonda1 y sonda2. La sonda1 se utiliza para el producto basado en Arduino, por consiguiente la sonda2 es la utilizada en el producto de Raspberry-pi.

En el laboratorio se dispone de muchos componentes electrónicos, estos se usan para realizar las pruebas iniciales y algunos para el montaje final.

Las resistencias se escogen de un valor cercano, se cogen varias y se miden con el multímetro para intentar acercarse lo máximo posible al valor de resistencia que se necesita en cada caso.

Se usa un amplificador operacional, LM747<sup>4</sup>, de los que se dispone en el laboratorio, este es alimentado a +12V y a -12V mediante una fuente de tensión continua.

La intensidad a medir se obtiene conectando una bancada de resistencias a la red eléctrica, para variar la intensidad solo hace falta variar la resistencia conectada.

Una vez que se tienen todos los materiales se procede al montaje de todos los componentes de forma correcta en un protoboard, como puede apreciarse en la Figura 15.

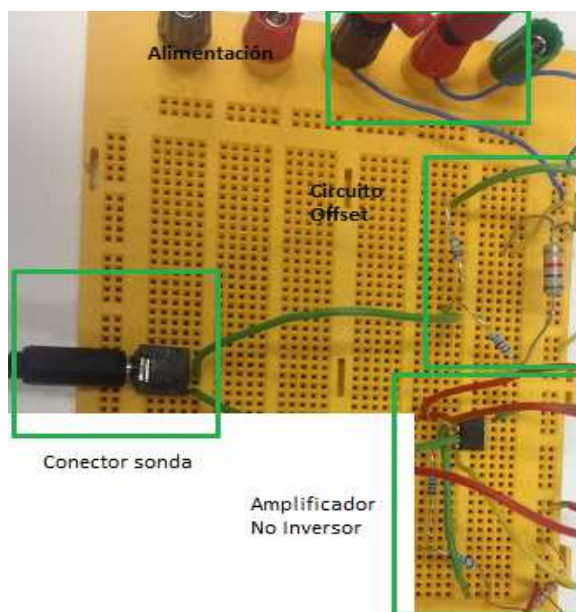


Figura 15: Protoboard para probar el circuito de Arduino.

<sup>4</sup> Referencia: [http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/L/M/7/4/LM747.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/M/7/4/LM747.shtml)

Se conecta una pinza amperimétrica de medición de intensidad al osciloscopio y en el otro canal del osciloscopio se muestra la tensión de salida del amplificador operacional. En el osciloscopio se puede apreciar las dos ondas perfectamente senoidales, el circuito de sensado y amplificación no nos distorsiona la forma de onda, esto se ratifica en la Figura 16.

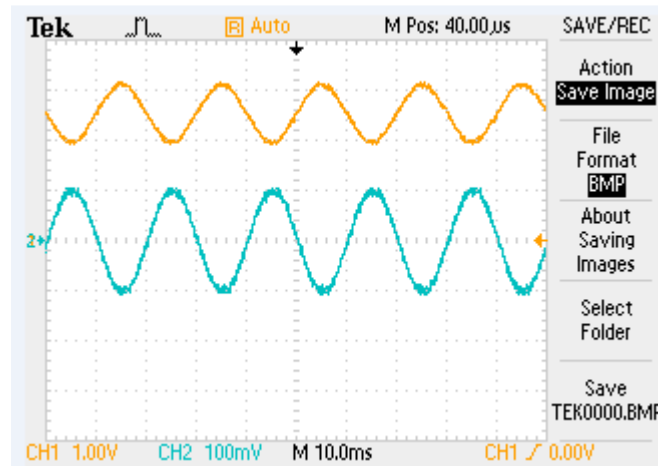


Figura 16: Imagen del osciloscopio.

En la figura 16, la gráfica de color azul es la de la sonda de medición de intensidad Fluke. La gráfica amarilla muestra la salida del amplificador operacional, lectura del Arduino mini, centrada en 2.5 V. Este es el offset necesario para Arduino.

Al realizar los cálculos necesarios se comprueba que la tensión a la salida del amplificador tiene el valor que corresponde para la intensidad que mide la pinza amperimétrica.

Para ver si el dato a la salida del amplificador operacional, se utiliza la ecuación 16.

$$I(A) = \frac{V_{leida} - V_{offset}}{Amplificacion} * \frac{1000}{relación} \quad (15)$$

$$I(A) = \frac{V_{leida} - 2.5}{1.7} * \frac{1000}{33.35} \quad (16)$$

Una vez que se aprecia el correcto funcionamiento de esta parte del proyecto, se procede a comprobar los módulos de radiofrecuencia para corroborar que el circuito funciona perfectamente cuando tiene todos sus elementos.

El emisor de radiofrecuencia envía datos y mediante la ecuación 16 se comprueba que los datos que recibe el receptor de radiofrecuencia, estos datos se visualizan en el monitor serial del Arduino, se corresponden con la intensidad que circula por el circuito montado mediante las bancadas de resistencias.



El circuito funciona a la perfección pero está siendo alimentado mediante dos puntos diferentes, el ordenador para alimentar el Arduino, y una fuente de continua (véase Figura 17) que alimenta el amplificador operacional a +12V y a -12V.



Figura 17: Fuente de corriente continua.

La alimentación de esta manera no es viable para el proyecto debido a que se hubiese tenido que fabricar una fuente de corriente continua lo que aumentaría costes y espacio ocupado por el producto.

La solución es buscar un amplificador operacional cuya alimentación coincida con la de Arduino, este admite voltajes de alimentación entre 7-9V por lo que el amplificador debía tener esta tensión de alimentación. Tras una búsqueda se encuentran varios amplificadores operacionales que cumplen este requisito, finalmente se utiliza el amplificador LM358<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Referencia: [http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/L/M/3/5/LM358.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/M/3/5/LM358.shtml)

De esta forma todo el circuito es alimentado a tensión continua y a la misma tensión, que es más importante aún, facilitando mucho el montaje y alimentación de nuestro producto que se podrá realizar mediante una única fuente de alimentación que se dimensionará en un capítulo posterior de esta memoria. En la Figura 18 puede apreciarse el circuito para Arduino.

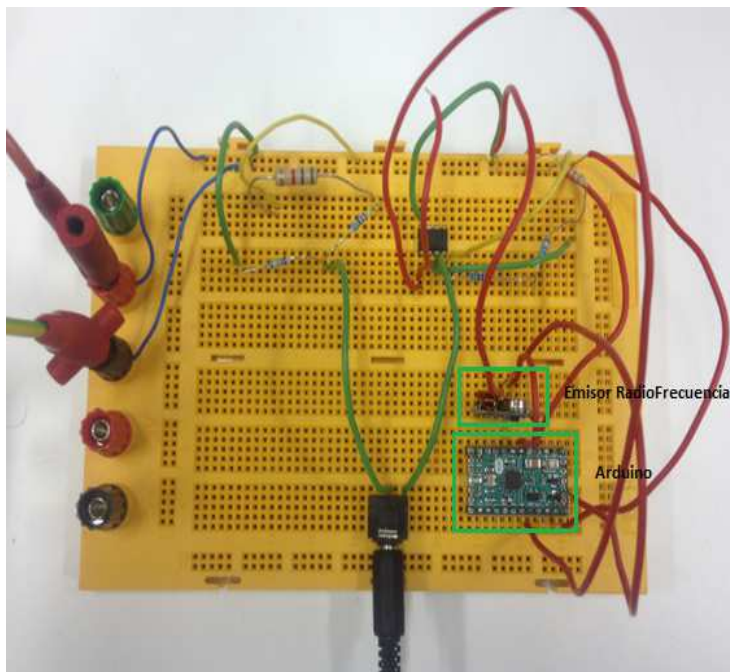


Figura 18: Circuito completo de sensado, acondicionamiento y envío de datos.

Ahora se procederá a explicar el montaje que se ha realizado para la Raspberry-pi.

La Raspberry-pi no tiene una entrada analógica, por lo que es necesario la utilización de un conversor analógico-digital para que la Raspberry-pi lea la señal proporcionada por la sonda.

Al estar utilizando la sonda2 se debe añadir una resistencia, anteriormente calculada, en bornes de la salida de la sonda. En una patilla se introduce el offset de 1.65V, este offset se consigue mediante un divisor resistivo, utilizando las patillas de 3.3V y 0V del GPIO y dos resistencias. La otra patilla de la salida de la sonda estará conectada al conversor analógico-digital.



Una vez montados los prototipos en protoboards se conectan tanto el circuito de Raspberry-pi como el de Arduino, para que los compañeros encargados de dichos aparatos, comprueben el correcto funcionamiento de los programas que han desarrollado. Además, se comprueba que la medición de intensidad, por parte de estos aparatos, se corresponde con la que mide la sonda de intensidad conectada al osciloscopio.

Para realizar estas pruebas se conecta una bancada de resistencias a la red eléctrica, cuyo valor variara para que varíe la intensidad que circula por ellas.

En la Figura 21 se puede ver como se hace la comprobación del correcto funcionamiento del circuito de la Raspberry-pi.

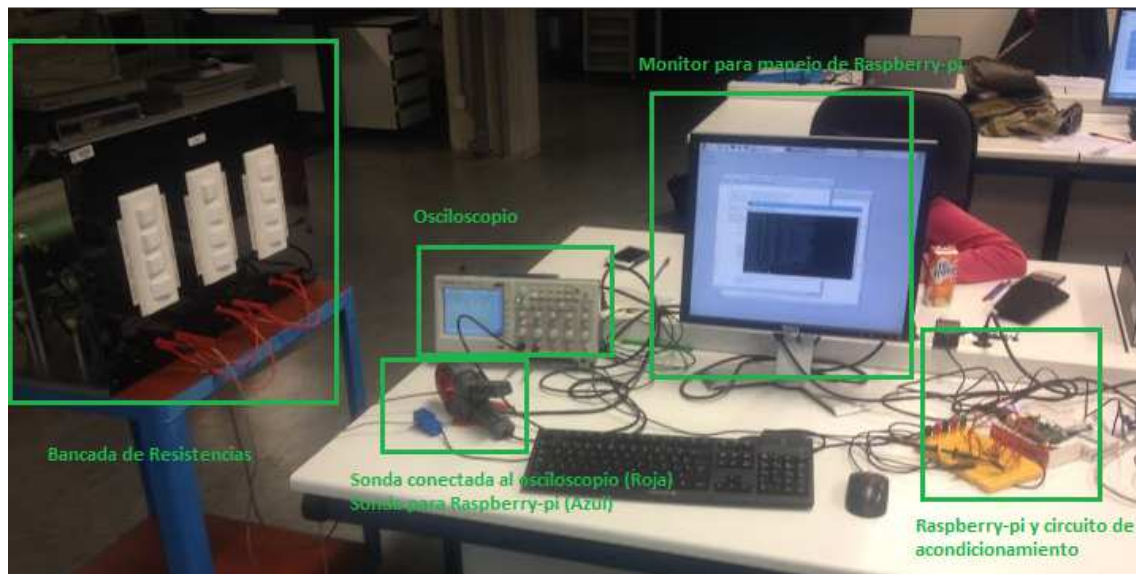


Figura 21: Montaje para corroborar el correcto funcionamiento del circuito.

## 8. ALIMENTACIÓN DEL CONTADOR

La alimentación es distinta para la Raspberry-pi y para el Arduino, debido a que uno tiene etapa de amplificación y otro no.

Para la Raspberry-pi, el offset se realiza a partir del pin de la Raspberry-pi que tiene un voltaje de 3.3V, y del que tiene un voltaje de 0V. Debido a todo esto la alimentación de la Raspberry-pi se hace mediante su cargador normal, fuente de alimentación conectada a un enchufe con salida micro-usb. Sin embargo, para el Arduino no se puede usar esta solución.

El amplificador operacional se debe de alimentar a 9V, el Arduino como máximo aporta 5V por lo que se necesita una fuente de alimentación externa. Como el Arduino tiene una tensión de alimentación de 9V se usa la misma fuente tanto para el Arduino como para el amplificador, además el offset se realiza también a partir de esta fuente.

Hay dos alternativas el uso de pilas o el de una fuente de alimentación. Para poder utilizar pilas hay que conocer la intensidad que consume el circuito de acondicionamiento. Las fuentes presentes en el laboratorio muestran la intensidad que el circuito conectado a ellas les demanda para su correcto funcionamiento, conocida esta posibilidad se alimenta el circuito a 9V mediante esta fuente, y la fuente indica una corriente consumida de 50mA.

Conocido este consumo se calcula la duración de las pilas si se eligiesen para alimentar el circuito mediante la Ecuación 18. El tiempo de duración de las pilas es muy pequeño, 2 días, por lo que no se pueden contemplar como una alternativa para la alimentación del circuito, quedan descartadas.

$$\text{Horas de duración de las pilas} = \frac{\text{capacidad de las pilas}}{\text{Intensidad del crcuito}} \quad (17)$$

$$\text{Horas de duración de las pilas} = \frac{2400 \text{ mAH}}{50 \text{ mA}} = 48 \text{ horas} \quad (18)$$

Entre las fuentes de alimentación hay dos opciones, usar una fuente de alimentación comercial de enchufe o el uso de una fuente de montaje en PCB cogiendo la alimentación directamente del cuadro eléctrico.

- Fuente con enchufe

Son fuentes que se fabrican a gran escala debido a su gran uso por lo que son fáciles de encontrar y con todo tipo de conectores.



Figura 22: Fuente de alimentación de enchufe.

- Fuente de alimentación de montaje PCB

Son fuentes internamente muy similares a las anteriores solo que preparadas para su montaje en una PCB.



Figura 23: Fuente de alimentación de montaje en PCB.

En la Tabla 5 se muestran las ventajas y desventajas que presentan las distintas opciones de fuentes de alimentación.

	Fuente con enchufe	Fuente de PCB
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Precio, muy baratas debido a su fabricación a gran escala.</li> <li>Fácil de montar, mismo montaje que para un móvil o cualquier aparato electrónico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solo se tendrá un aparato, todo integrado en una sola caja dentro del cuadro eléctrico.</li> <li>No es necesario disponer de enchufe cercano, la alimentación se adquirirá del propio cuadro.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dos aparatos, uno dentro del cuadro y por otro lado la fuente enchufada.</li> <li>Cableado, se usa más cantidad de cable debido a que hay que llevar la alimentación desde un enchufe.</li> <li>Necesario tener un enchufe cerca.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las fuentes de PCB son menos utilizadas que las de enchufe, esto provoca una menor producción y por consiguiente un mayor precio.</li> <li>Se debe de hacer la conexión de la alimentación mediante cables desde el cuadro, esto es algo poco recomendable para personas poco mañosas.</li> </ul>

Tabla 5: Ventajas y desventajas de las distintas fuentes de alimentación.

Tras estudiar la Tabla 5 se toma la decisión de alimentar el circuito mediante la fuente de enchufe debido a que supone un coste mucho menor para el producto que las de montaje de PCB. Además no supone un problema el montaje del producto por parte del usuario, cosa que si ocurre con las otras fuentes.

Los valores que tiene que tener la fuente da alimentación son los que aportaba la fuente de continua, voltaje de 9V y una intensidad mínima de 60mA.

En el laboratorio se dispone de varias fuentes, al ver que cumplen los requisitos calculados se utilizan estas fuentes, que disponen de un conector de 3.5mm. En la tarjeta electrónica donde se monte el circuito se debe de poner un conector hembra en el que encaje el conector macho de la fuente.

El Arduino conectado a internet se alimenta con una fuente similar a la anterior directamente conectada al conector hembra de alimentación del Arduino.

Ahora ya se dispone tanto de la alimentación de la Raspberry-pi como de ambos Arduinos y se puede pasar al diseño del circuito en la placa de PCB para su finalización.



## 9. MONTAJE DEL PROTOTIPO

Para el montaje del circuito se ha utilizado una placa de electrónica llamada placa de prototipado. Estas placas están perforadas de muchos agujeros, por un lado se puede soldar y por el otro lado no debido que no tiene anillos de un material metálico alrededor del agujero. La única pega de estas placas es que hay que realizar las pistas entre cada componente mediante hilos de estaño o soldando un cable desde un punto a otro.

Aunque las placas de prototipado presentan estas pegas se decide emplearlas, debido a que la otra alternativa es el uso de una placa de PCB pero no se tiene el tiempo necesario para fabricar esta placa.

Las placas a realizar son tres, una para la Raspberry-pi y dos para el Arduino, una de ellas para el circuito de adquisición y envío de datos y otra para el Arduino encargado de recibir los datos.

Lo primero es conocer los componentes que se van a utilizar en cada placa y distribuirlos para que las pistas no se crucen y las placas tengan el menor tamaño posible.

Para finalizar, todas las placas se introducen en cajas como si se tratase de un producto acabado listo para ser lanzado al mercado.

### 9.1.PLACA RASPBERRY-PI

En la Figura 24 se puede apreciar cómo están distribuidos los pines de entrada y salida de la Raspberry-pi.

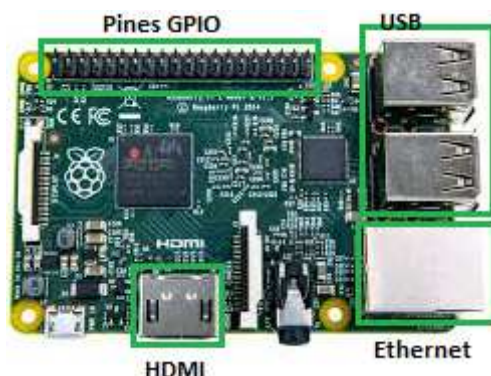


Figura 24: Imagen de la Raspberry-pi.



La idea que se lleva a cabo es la de colocar dos tiras de conectores en la placa de prototipado que encajen con los pines de la Raspberry-pi. La placa de prototipado ocupara el mismo espacio que la Raspberry-pi, el conector Jack de la sonda se coloca encima del conector hdmi de la Raspberry-pi.

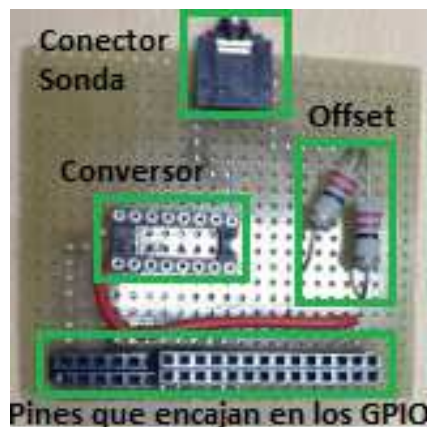


Figura 25: Placa para Raspberry-pi

En la Figura 26 se aprecia cómo encaja la placa de prototipado en la Raspberry-pi.



Figura 26: Raspberry-pi y placa de prototipado.

Debido a que la placa se realiza de esta forma se puede emplear una caja propia de la Raspberry-pi para guardar el producto, lo único que hay que realizar es un agujero en la caja para el conector de la sonda.

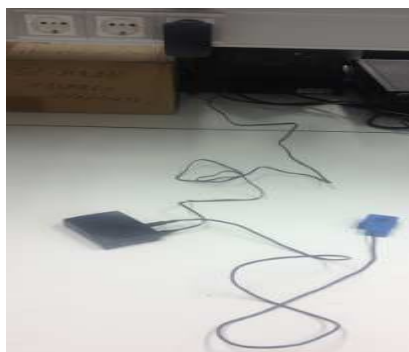


Figura 27: Raspberry-pi con alimentación y sonda.

## 9.2.ARDUINO

En el Arduino se tienen dos partes diferenciadas, el Arduino encargado de adquirir los datos y enviarlos y el Arduino que se encarga de recibir estos datos procesarlos y subirlos a internet, son dos productos independientes.

La primera placa que se realiza es la del receptor ya que esta placa solo contiene el receptor de radiofrecuencia.

Para ganar espacio lo que se realiza es una placa que encaja en las patillas del Arduino, para ello se mide la anchura del Arduino uno y se le colocan unos conectores a la placa de prototipado para que encaje en el Arduino, la idea es similar a un shield de Arduino como se puede observar en la Figura 28.

Una vez visto que la placa encaja perfectamente se suelda el receptor y se realizan las pistas pertinentes para alimentar el receptor y para que la señal del receptor sea recibida por el Arduino.



Figura 28: Arduino uno, con shield de Ethernet y receptor de Radiofrecuencia.

Una vez que se tiene todo montado y las dimensiones finales del producto se busca una caja en la que quepa el producto.



Figura 29: Arduino receptor en su caja.

La última placa que se realiza es la que engloba la sonda, la etapa de amplificación, el Arduino mini y el emisor de radiofrecuencia.

Se realiza un esquema en papel de cómo se conectarán los componentes en la placa de prototipo. Para conseguir que ninguna pista entre conectores se cruce con otra pista, porque esto implicaría no poder implementar el circuito en la placa de prototipo. Además, mediante el papel se intenta conseguir que la placa tenga las menores dimensiones posibles.

Una vez realizado este esquema de forma correcta, se fabrica la placa de prototipo siguiendo el esquema.

El Arduino mini viene sin patillas de conexión, por lo que lo primero que hay que realizar es soldarle unas patillas para poder introducirlo en los agujeros de la placa de prototipo.

Una vez soldadas las patillas al Arduino se colocan todos los componentes en la placa de prototipo, después realizan todas las conexiones mediante hilos de soldadura, cada vez que se acaba una conexión se verifica que hay continuidad, soldadura bien hecha. La placa finalizada puede verse en la Figura 30.



Figura 30: Placa finalizada del circuito de sensado, acondicionamiento y envío de datos para Arduino

Acabada la tarea de soldadura y con la placa finalizada, se toman las medidas de ancho, largo y altura para escoger la caja que mejor se adapta a las dimensiones que tiene el circuito.

El producto acabado se aprecia en la Figura 31.

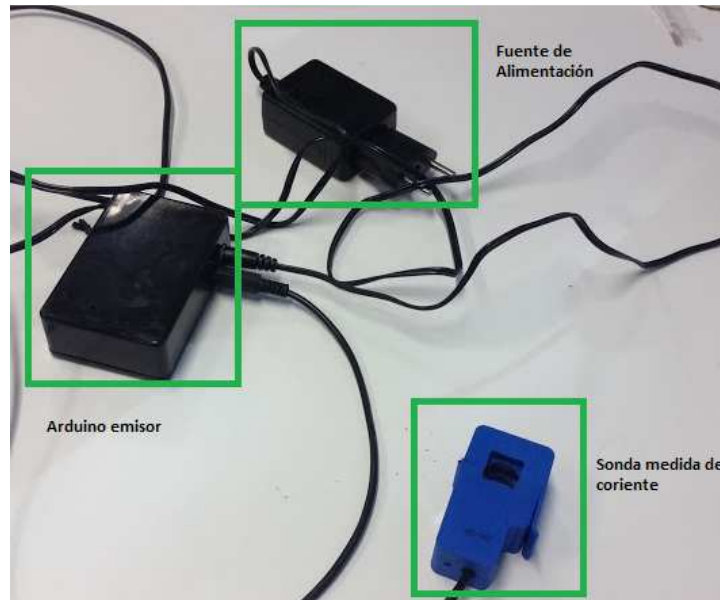
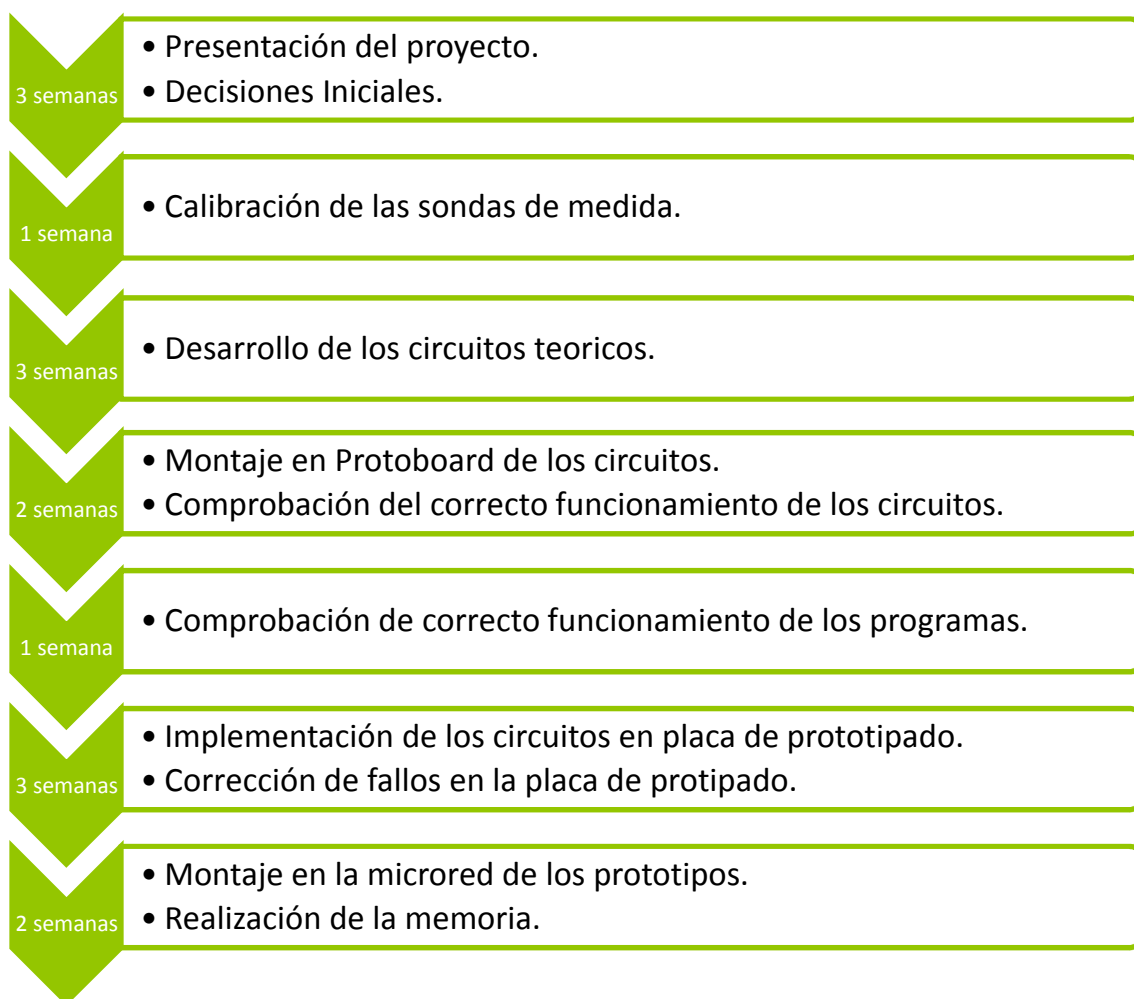


Figura 31: Arduino emisor caja.

## 10. LINEA TEMPORAL



## 11. PRESUPUESTO

### 11.1. PRESUPUESTO RASPBERRY-PI

Producto	Web de compra	Referencia	Cantidad	Precio
Caja de Raspberry-Pi	<a href="http://es.farnell.com/">http://es.farnell.com/</a>	MC-RP002-BLK	1	6.50€
Convertor analógico-digital	<a href="http://es.rs-online.com/web/">http://es.rs-online.com/web/</a>	669-6064	1	2.2€
Resistencias 22 $\Omega$	<a href="http://es.rs-online.com/web/">http://es.rs-online.com/web/</a>	131-946	2	0.236€
Sonda de medida	<a href="http://es.aliexpress.com/">http://es.aliexpress.com/</a>	32264516329	1	5.03€
Conector Jack	<a href="http://www.ebay.es">http://www.ebay.es</a>	2x Jack conector hembra 3.5 mm audio	1	1€
Conectores hembra para PCB	<a href="http://es.rs-online.com/web/">http://es.rs-online.com/web/</a>	488-1724	1	3.06€

Tabla 6: Presupuesto Raspberry-pi

## 11.2. PRESUPUESTO ARDUINO

Producto	Web de Compra	Referencia	Cantidad	Precio
Caja Arduino Emisor	<a href="http://es.rs-online.com/web/">http://es.rs-online.com/web/</a>	493-5938	1	3.64€
Caja Arduino Receptor	<a href="http://es.rs-online.com/web/">http://es.rs-online.com/web/</a>	668-4449	1	10.57€
Resistencia 5.6kΩ	<a href="http://es.rs-online.com/web/">http://es.rs-online.com/web/</a>	707-8899	1	0.092€
Resistencia 220Ω	<a href="http://es.rs-online.com/web/">http://es.rs-online.com/web/</a>	740-0810	1	0.018€
Resistencia 150Ω	<a href="http://es.rs-online.com/web/">http://es.rs-online.com/web/</a>	707-8839	1	0.092€
Resistencia 7.5Ω	<a href="http://es.rs-online.com/web/">http://es.rs-online.com/web/</a>	506-4532	1	0.092€
Resistencia 1000Ω	<a href="http://es.rs-online.com/web/">http://es.rs-online.com/web/</a>	214-1951	1	0.142€
Resistencia 91Ω	<a href="http://es.rs-online.com/web/">http://es.rs-online.com/web/</a>	849-8950	1	0.093€
Conectores macho para PCB	<a href="http://es.rs-online.com/web/">http://es.rs-online.com/web/</a>	547-3166	1	0.62€
Conector Jack	<a href="http://www.ebay.es">http://www.ebay.es</a>	2x Jack conector hembra 3.5 mm	1	1€
Conector de alimentación	<a href="http://es.rs-online.com/web/">http://es.rs-online.com/web/</a>	705-1550	1	3.53€
Sonda de medida	<a href="http://es.aliexpress.com/">http://es.aliexpress.com/</a>	2008308345	1	5€
Amplificador Operacional	<a href="http://es.rs-online.com/web/">http://es.rs-online.com/web/</a>	533-8243	1	0.72€
Módulos de Radiofrecuencia	<a href="http://www.ebay.es">http://www.ebay.es</a>	RF para Arduino	1	2.9€
Fuente de alimentación	<a href="http://www.ebay.es">http://www.ebay.es</a>	Fuente de alimentación Arduino UNO	2	11€

Tabla 7: Presupuesto Arduino

## 12. CONCLUSIÓN

Se puede concluir que se ha conseguido realizar un proyecto cuyo funcionamiento es más que aceptable debido a que las medidas que se realizan tienen una buena precisión y se mantiene una forma de onda senoidal, importante para líneas futuras. No se ha conseguido un coste de fabricación admisible para competir en el mercado de los contadores inteligentes, pero si se ha logrado que el producto tenga un tamaño que permita su utilización y movilidad.

## 13. LINEAS FUTURAS

Una de las mejoras más relevante es el uso de placas de PCB, en vez de las de prototipado usadas en el proyecto.

Los PCB tienen varias ventajas sobre las placas de prototipado, su fabricación esta industrializada, una maquina es capaz de hacer muchos en poco tiempo. Esto implica una reducción en el coste de fabricación de los productos. Además, permite realizar unas placas más pequeñas que si una persona suelda la placa de prototipado, en parte porque se pueden realizar pistas por las dos caras. Como desventaja tienen el coste, una placa de prototipado es más barata que una de PCB.

Otro mejora que podría implementarse en un futuro es la medida de tensión, esto aportará una gran precisión en la medida de la potencia, ya que no se tomaran datos arbitrarios sino que todos los datos se medirán.

Esta idea encarecerá el coste del producto debido que se utilizaran más componentes, sin embargo, este sobre coste puede ser reducido mediante otra idea de mejora

La idea consiste en no usar un Arduino mini sino en instalar un microcontrolador, y los componentes para su correcto funcionamiento, directamente en la placa PCB. Además de reducir costes, esta idea puede proporcionar una mayor rapidez ya que podría usarse un micro más rápido que el instalado en el Arduino mini.





## 14. BIBLIOGRAFIA

1. Víctor Erice Carbonero, "Medidor de consumo eléctrico de un hogar: procesado de datos mediante Arduino", Universidad Pública de Navarra, Junio 2015.
2. Aritz Legarrea Oyarzun, "Medidor de consumo eléctrico de un hogar: procesado de datos mediante Raspberry-pi", Universidad Pública de Navarra, Junio 2015.
3. Nahia Barriola Hernandorena, "Medidor de consumo eléctrico de un hogar: visualización vía web", Universidad Pública de Navarra, Junio 2015.
4. Adel S. Sedra, "Microelectronic circuits", Holt Rinehart and Winston, 1987

# ANEXO 1

# SPECIFICATION

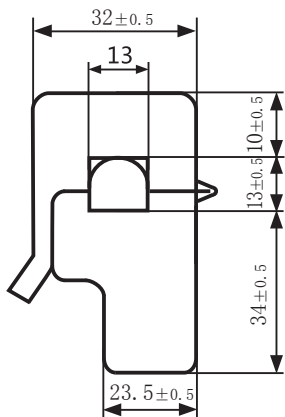
Customer Title : XiDi Technology

Product Name: Splilt-core current transformer

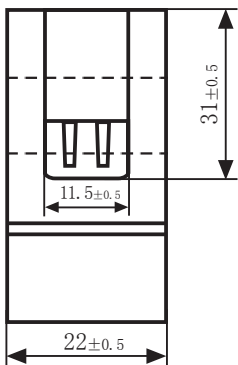
Manufacture Model : SCT-013-030

Charateristics: open size:13mm×13mm  
1m leading wire  
Core material:Ferrite  
Fire resistance property:in accordance with UL 94-V0  
Dielectric strength: 1500V AC/1min 5mA  
(between shell and output)

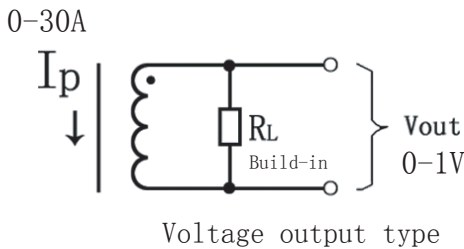
Outline size diagram:(in mm)



Front View



Side View



Schematic Diagram

Typical table of technical parameters:

input current	output voltage	non-linearity	build-in sampling resistance (RL)
0-30A	0-1V	±1%	62 Ω
turn ratio	resistance grade	work temperature	dielectric strength(between shell and output)
1800:1	Grade B	-25℃~+70℃	1500V AC/1min 5mA

Customer Sign:

Beijing YaoHuadechang Electronic Co.,Ltd  
Phone: 0355-7929499-803  
Cell: 13693334514  
Contact Name: Engineer Chen

Approve Sign:Chenjianping

2011-7-21

# ANEXO 2

# SPECIFICATION

Customer Title : XiDi Technology

Product Name: Splilt-core current

Manufacture Model : SCT-013-000

transformer

Charateristics: open size:13mm×13mm

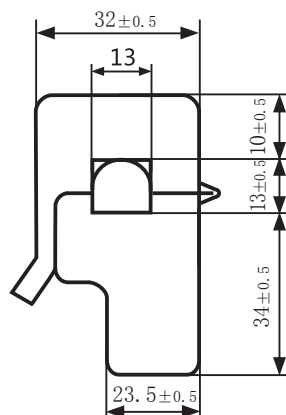
1m leading wire

Core material:Ferrite

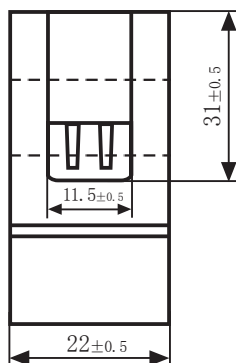
Fire resistance property:in accordance with  
UL 94-V0

Dielectric strength: 1000V AC/1min 5mA  
(between shell and output)

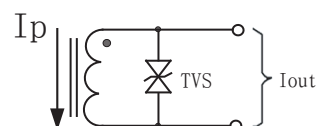
Outline size diagram:(in mm)



Front View



Side View



TVS: Transient-voltage Suppressor

Current output type

Schematic Diagram

Typical table of technical parameters:

input current	output voltage	non-linearity	build-in sampling resistance (RL)
0-100A	0-50mV	±3%	Ω
turn ratio	resistance grade	work temperature	dielectric strength(between shell and output)
100A:0.05A	Grade B	-25℃~+70℃	1000V AC/1min 5mA

Customer Sign:

Beijing YaoHuadechang Electronic Co.,Ltd

Phone: 0355-7929499-803

Cell: 13693334514

Contact Name: Engineer Chen

Approve Sign:Chenjianping

2011-7-26